AMAZONIANA	I	2	117—123	Kiel, Mai 1967

Zur Limnochemie des Igarapé Préto

(Oberes Amazonasgebiet)

Von ROLF GEISLER

Anläßlich einer Reise in das brasilianisch-kolumbianische Grenzgebiet sammelte der verdienstvolle Förderer der ichthyologischen Erforschung Brasiliens, der Ethnograph HARALD SCHULTZ/São Paulo außer Fischen eine Reihe von Wasserproben aus dem Igarapé Préto und führte orientierende pH-Bestimmungen an Ort und Stelle durch.

Die Bearbeitung der Fischfauna (Fam. Characidae et Crenuchidae) durch GÉRY (1965) brachte unerwartet reiche Ergebnisse, u. a. 12 neue Spezies. Als Ergänzung zu der faunistischsystematischen Arbeit von GÉRY sind die Wasseruntersuchungen zu sehen, die auch deswegen mitgeteilt werden, weil über die Limnochemie im westlichen Teil Amazoniens (Oberamazonien) praktisch nichts bekannt ist im Gegensatz zu Zentral- und Unteramazonien.

Der plötzliche Tod unseres verehrten Freundes HARALD SCHULTZ (+ 5. 1. 66) machte seine Pläne zunichte, die bereits 1960 entnommenen Stichproben anläßlich einer erneuten Sammelreise durch umfangreicheres Untersuchungsmaterial zu vervollständigen und erst dann die Befunde zu veröffentlichen.

Material und Analysenmethodik

Die im Dezember 1960 entnommenen Wasserproben wurden im April 1961 mit Luftpost übersandt. Um das Transportgewicht möglichst niedrig zu halten, wurden in kleinen Plastikflaschen jeweils etwa 100 ml entnommen. Diese relativ geringe Wassermenge erlaubte auch bei teilweiser Anwendung der Untersuchungsmethoden nach GAD (1949) keine Vollanalyse, eine Beschränkung auf einige in ökologischer und limnologischer Sicht wichtige Faktoren war erforderlich.

Analysenmethodik

Permanganat-Verbrauch: in saurer Lösung nach Kubel-Thiemann, im Filtrat
m-Alkalität: mit n/100 HCl gegen Methylorange
Gesamthärte: komplexometrisch
Nitrat: Salicylatmethode
Chlorid: Titration mit Mercurinitrat
pH-Messung: elektrometrisch, an Ort und Stelle kolorimetrisch mit Hellige-Komparator durch H. SCHULTZ

Die Kurzbeschreibung der Biotope erfolgte nach den Angaben von SCHULTZ aus GÉRY (a. a. O. S. 12).

Analysenbefunde

Probe 1 + 2

Bezeichnung nach H. SCHULTZ:

Neonfisch-Bäche' Oberer Igarapé Préto, Dezember 1960, einsetzendes Hochwasser (= Biotop Typ 1 nach GÉRY (1965): Bäche unter Galeriewäldern, selten besonnt, Wasseroberfläche beschattet durch Wasserpflanzen, Hauptgebiet des Neonfisches *Paracheirodon innesi*)

Äußere Beschaffenheit	klar, gelblich-braun, schwach brauner Bodensatz	
Leitfähigkeit in Micro-S bei 20° C	29	29
pH am Ort kolor.	5,8	5,8
im Labor elektrom.	6,1	5,8
Permanganatverbrauch mg/l	47,4	69,6
m-Alkalität mval/l	0,3	0,3
Gesamthärte d°H	0,1	0,1
Nitrat-Ion mg/l NO_3	2,4	4,3
Chlorid-Ion mg/l Cl	< 0,5	< 0,5

Probe 3

Bezeichnung nach H. Schultz:

Waldbächlein im Oberlauf des Igarapé Préto-Oberer Solimões, Dezember 1960. (Zuordnung zu den Biotop-Angaben von Géry schwierig, wahrscheinlich Biotop-Typ 1 nahestehend)

Äußere Beschaffenheit	klar, gelblich-braun, starker organischer Bodensatz
Leitfähigkeit in Micro-S bei 20° C	28
pH am Ort kolor.	5,3
im Labor elektrom.	5,9
Permanganatverbrauch	82,2
m-Alkalität mval/l	0,3
Gesamthärte d°H	0,05
Nitrat-Ion mg/l NO_3	4,6
Chlorid-Ion mg/l Cl	~ 0,5

Probe 4

Bezeichnung nach H. Schultz:

Urwaldbächlein Oberlauf Igarapé Préto, Dezember 1960 (= Biotop-Typ 2 nach Géry: Sehr kleiner, stark beschatteter Bach, niemals von der Sonne beschienen. Niemals wird hier der Neonfisch *Paracheirodon innesi* gefunden, aber Arten wie *Copella vilmae* und andere Pyrrhulinidae)

Äußere Beschaffenheit	klar, farblos, ohne Bodensatz
Leitfähigkeit in Micro-S bei 20° C	5
pH am Ort kolor.	5,3
im Labor elektrom.	5,9
Permanganatverbrauch mg/l	25,3
m-Alkalität mval/l	< 0,1
Gesamthärte d°H	< 0,05
Nitrat-Ion mg/l NO_3	0,7
Chlorid-Ion mg/l Cl	< 0,2

Probe 5

Bezeichnung nach H. Schultz:

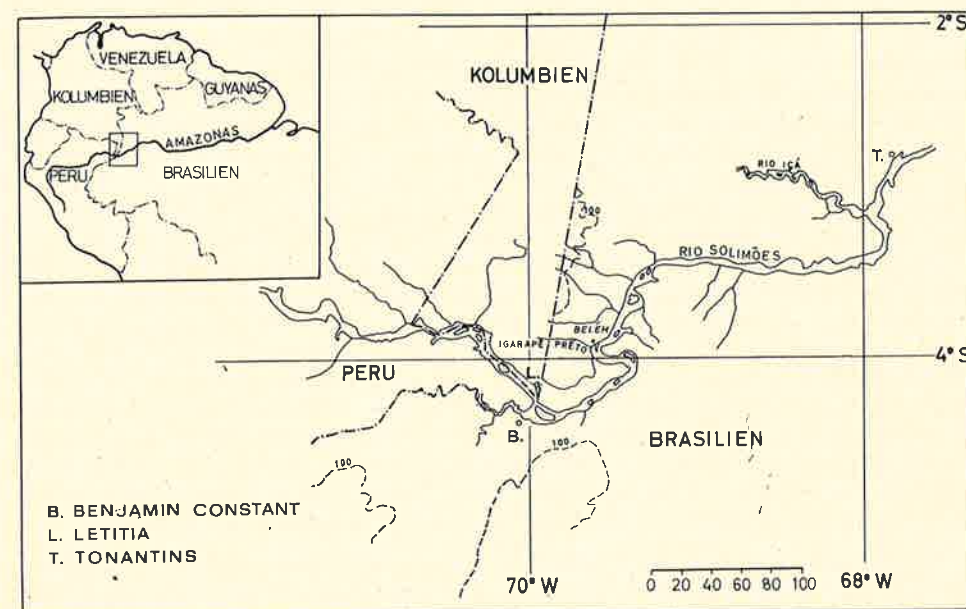
Oberlauf Igarapé Préto, Dezember 1960 (= Biotop-Typ 3 nach Géry: Hauptwasserlauf, während der Regenzeit mit Motorfahrzeugen schiffbar. Neonfische *Paracheirodon innesi* werden hier nur in der Trockenzeit angetroffen)

Äußere Beschaffenheit	klar, farblos, hellgelbes Sediment
Leitfähigkeit in Micro-S bei 20° C	50
pH am Ort kolor.	5,4
im Labor elektrom.	5,6
Permanganatverbrauch mg/l	88
m-Alkalität mval/l	0,42
Gesamthärte d°H	0,2
Nitrat-Ion mg/l NO_3	4,7
Chlorid-Ion mg/l Cl	< 1

Diskussion der Analysenbefunde

1. Allgemeine Angaben

Der Igarapé Préto (= „Schwarzer Bach", I. P.) liegt im äußersten Westen des brasilianischen Amazonasgebietes (Staat Amazonas), die Quellregionen befinden sich bereits in Kolumbien (vergl. Karte*). Der Fluß mündet etwa 60 km östlich der fast genau N-S verlaufenden Landesgrenze Brasilien—Kolumbien nahe der Ortschaft Belém in den Solimões. Die Gewässer dieser Region sind Hauptfanggebiete des bekannten Neonfisches *Paracheirodon innesi*.



Gebiet des oberen Solimões (Amazonas) Brasilien

Nach der Übersichtskarte über die Geologie Amazoniens (nach Oliveira aus Sioli 1950) liegt der I. P. in den weiten Tertiärgebieten, die den größten Teil der Amazonasebene geomorphologisch und damit auch limnochemisch prägen. Diese tertiären Sedimente sind bekanntlich stark verarmt an Elektrolyten, wie es Sioli (1950), Klinge und Ohle (1964), Braun (1952) und andere aufgezeigt haben.

*) Für die Kartenvorlage wird Herrn Prof. H. Sioli/Plön herzlich gedankt.

Trotz der geologisch recht einheitlich erscheinenden Struktur des riesigen Tertiärgebietes bestehen sicher regionale, in ihrem Umfang erst in groben Umrissen erkennbare Differenzierungen mit weitreichenden produktionsbiologischen Folgen. So weisen SIOLI (1964) und FITTKAU (1964) darauf hin, daß in den westlichen Teilen Amazoniens, also im Einflußbereich der Andenregion, die Gewässer nicht so stark chemisch verarmt sind und eine so stark saure Reaktion aufweisen, wie es in Zentral- und Unter-(= Ost-) Amazonien und in den archaischen Massiven Zentralbrasiliens und Guianas (mit Ausnahme der bekannten Devon- und Karbonstreifen) der Fall ist.

Folgende Mittelwerte für Quellen und Bäche aus dem Tertiär und Archaikum werden angegeben:

pH-Wert	4,1—5,2 (SIOLI),	für den Rio Negro (GESSNER, 1964)
Bikarbonat-CO_2	0 —7,0	pH 4—6
Gesamthärte d°H . . .	0 —0,65	Leitfähigkeit μS 8—12
Nitrat mg/l NO_3	0 —0,5	
Chlorid mg/l Cl	0 —3	

Eine Klassifizierung von großen Flüssen nach der Farbe, Sichttiefe und Schwebstoffführung in Weiß-, Klar- und Schwarzwasser nach den Vorschlägen von SIOLI ist wohlbekannt. Eine definitionsmäßig scharfe Trennung zwischen diesen 3 Grundtypen ist bekanntlich nicht möglich, da die örtliche, insbesondere bodenkundliche Situation auch in einem seiner geologischen Geschichte nach einheitlichen Gebiet entscheidend die Wasserbeschaffenheit prägt. Aus diesem Grunde sind Übergänge besonders zwischen Klar- und Schwarzwassertyp vorhanden, selbst innerhalb räumlich begrenzter Flußgebiete in enger Abhängigkeit von der Bodenstruktur in Zusammenwirken mit klimatischen und hydrographischen Faktoren.

2. Einordnung der Analysen vom I. P. in die bisherigen Befunde

Zweifellos gehören die untersuchten Wasserproben aus dem Flußgebiet des I. P. zum Typ des Klar-Schwarzwassers. Der Elektrolytgehalt, repräsentiert durch die Leitfähigkeit, war erwartungsgemäß deutlich höher als im Tertiär Zentral- und Unteramazoniens. Die dadurch bedingte etwas bessere Pufferungskapazität (nach BERG 1961 „Eaux humiques partiellement neutralisées") führte zu pH-Werten, die nur im schwach sauren Bereich zwischen pH 5,3 und 6,1 lagen. Die Differenzen zwischen den von SCHULTZ am Ort bestimmten pH-Werten und den nachträglichen elektrometrischen Messungen sind nur in untergeordnetem Maße durch die jeweilige Meßmethodik zu erklären. Im wesentlichen sind die Unterschiede bedingt durch Veränderungen, welche die nur schwach gepufferten Wässer auf dem langen Transport erfahren haben.

Hinzuweisen ist auf den sehr hohen Gehalt an oxydierbarer organischer Substanz. Bei den fast zur gleichen Zeit entnommenen 5 Proben schwanken die Permanganatwerte zwischen 25 und 88 mg/l. Da ein Teil der „Huminstoffe" beim Transport ausgeflockt war (Sedimente!), müssen die Werte bei der Entnahme noch höher gewesen sein.

Leider war es uns z. Z. der Probenbearbeitung (IV/1961) bei den geringen Wassermengen nicht möglich, die Humusfarbe (Hufa) zu bestimmen. Trotz der bekannten Einwände gegen die Bestimmung der organischen Substanzen mit der Permanganatmethode geben jedoch die Werte ein gutes Übersichtsbild über die in den genannten Biotopen bzw. Proben (1, 2, 3, 5) außerordentlich hohen Gehalte an gelösten Huminstoffen. Zwischen dem Permanganatverbrauch und den für Amazonien z. T. ungewöhnlich hohen Leitfähigkeitswerten bestehen deutliche Beziehungen.

Permanganatwerte von 88 mg/l (Probe 5) wurden in dieser Größenordnung bisher nur in der Oberlaufregion des Rio Negro, dem markantesten Schwarzwasser der Erde, ermittelt. Auch die Gesamthärte war in beiden Regionen gleichartig. Jedoch lag der pH-Wert im I. P. nicht so stark im sauren Bereich wie am Rio Negro (SIOLI, 1955).

Bei derartigen Vergleichen der Analysen vom I. P. mit den zahlreichen Angaben aus Zentral- und Unteramazonien muß selbstverständlich die jeweilige Jahreszeit der Probenentnahme Berücksichtigung finden. So wurden die erwähnten Untersuchungen im oberen Rio Negro-Gebiet im September 1960 durchgeführt, also zur Trockenzeit, während Schultz die Proben Mitte Dezember 1960 „nach Einsetzen der Regenzeit bei beginnendem Hochwasser" entnahm.

In welchem Ausmaß sich die Wasserführung in einem kleinen Fluß von der Größenordnung des I. P. (Gesamtlauflänge etwa 50 km) jahreszeitlich ändert, ist nicht bekannt. Nach mündlicher Mitteilung von H. SCHULTZ müssen die jahreszeitlichen Schwankungen im Abflußregime sehr erheblich sein. Es war ihm möglich, den zur „Trockenzeit" nicht schiffbaren Fluß nach Einsetzen der Regenzeit Ende November mit einem kleinen Boot von der Mündung bis hinauf zur Grenze Brasilien—Kolumbien zu befahren, wenn auch unter Schwierigkeiten. Bei derartigen Schwankungen in der Wasserführung müssen auch in produktionsbiologischer Sicht bedeutsame Änderungen im Wasserchemismus auftreten.

Wesentliche Kenntnisse über den Einfluß der Regenzeit auf den Chemismus und die Biologie brachten die Untersuchungen von BRAUN (1952) im Gebiet des unteren Tapajóz, dabei wurde die Wirkung des „Verdünnungsfaktors" und des „Uferfaktors" ermittelt (a. a. O. S. 109). Beide Faktoren wirken gegensätzlich und prägen gemeinsam entscheidend das jahreszeitlich wechselnde produktionsbiologische Geschehen. Wenn auch die Arbeiten von BRAUN hauptsächlich in Seen durchgeführt wurden, so geben die gleichzeitigen Untersuchungen im Rio Tapajóz wichtige Hinweise. So stieg im Fluß der Permanganatverbrauch von 12 mg/l am Ende der Trockenzeit 4 Wochen nach Einsetzen der Regenzeit auf 20 mg/l an und erreichte den Höchstwert zur Zeit der stärksten Niederschläge Ende Januar/Anfang Februar mit 25 mg/l, also ein Anstieg um mehr als das Doppelte.

Die dem I. P. nächstgelegene meteorologische Meßstation ist die peruanische Stadt Iquitos. Nach KÖPPEN (1931) liegt hier das Niederschlagsmaximum im Monat März (310 mm), also ähnlich wie am unteren Tapajóz. Zieht man unter diesem Aspekt vorsichtige Vergleiche zwischen den beiden Gebieten, so würden im Areal des I. P. zur sog. Trockenzeit diejenigen limnochemischen Faktoren, die vom Uferfaktor wesentlich bestimmt werden (Permanganatverbrauch, NO_3) in der Größenordnung wesentlich niedriger liegen, als unsere Analysen aus der Regenzeit ausweisen. Umgekehrt wären durch Wirkung des „Verdünnungsfaktors" die Bikarbonat- und Chloridgehalte in der Trockenzeit im I. P. höher zu erwarten sein, als die Meßdaten aus der Regenzeit angeben. Derartige Überlegungen bedürfen aber unbedingt eingehenderer Untersuchungen.

Einer kritischen Betrachtung bedürfen die in den Stichproben vom I. P. gefundenen Nitratwerte, die weit höher sind, als die zahlreichen Analysen aus Zentral- und Unteramazonien ausweisen. Die angewandte Salicylatmethode gilt als eine der derzeit zuverlässigsten Analysenverfahren, außerdem wurden in diesem Fall Doppelbestimmungen durchgeführt. Die erhaltenen, völlig atypischen hohen Werte von 2,4—4,7 mg/l Nitrat (Probe 1, 2, 3, 5) können deshalb nicht näher erklärt werden.

Die aus dem gleichen Flußgebiet entnommenen Wasserproben zeigen recht unterschiedliche Analysendaten, die auf eine erhebliche Differenzierung der Bodenstruktur (und der Vegetationsformen?) im Einzugsgebiet der Bäche hinweisen — trotz der geologischen Einheitlichkeit, die dem gesamten Areal zugesprochen wird. GÉRY (a. a. O. S. 213) gibt für die von ihm zitierten 3 Biotope eine Aufstellung der jeweiligen Characidenfauna. Auch SCHULTZ (1962) machte seine Angaben nach ichthyologischen Gesichtspunkten, nämlich dem Vorkommen bzw. Fehlen des *Paracheirodon innesi*.

Einen extrem elektrolytarmen Biotop erweist die Wasserprobe 4 (= Biotop-Typ 2 nach GÉRY), denn eine Leitfähigkeit von 5 μS ist einer der niedrigsten Meßwerte, der bisher bekannt wurde. Bei den bis vor kurzer Zeit bestehenden apparativen Schwierigkeiten, derartige Messungen unabhängig vom Netzstrom auch in elektrolytarmen Gewässern mit Kleingeräten durchzuführen, enthalten die Analysen aus den Bächen vom oberen Rio Negro (SIOLI 1955a) noch keine derartigen Angaben. GESSNER (1964) teilt für den Rio Negro 8—12 μS mit, der bei KLINGE u. OHLE (1964) zu findende niedrigste Wert beträgt gleichfalls 5 μS.

Der in unserer Probe 4 nur mäßig hohe Gehalt an organischen Substanzen macht ein derartiges Wasser als Lebensraum für wenige Fischarten erträglich. SCHULTZ (1962) fand in diesem Bach Vertreter der Pyrrhulinidae, nämlich *Pyrrhulina brevis lugubris*, *P. laeta*, *Copella natteri* sowie die neu beschriebene *C. vilmae* GÉRY. Letztere, außerordentlich farbenprächtige Art erwies sich als sehr empfindlich gegen Veränderungen im Wasserchemismus, insbesondere bei einem Wechsel in ein Wasser mit höherem Elektrolytgehalt und nicht kräftig saurer Reaktion. Es traten dann osmotische Schäden am Kiemenepithel sowie Flossenschäden auf, die von einem Großteil der Fische nicht überwunden werden konnten.

Es ist Aufgabe der Zukunft, die Zusammenhänge zwischen Fisch und Milieu in den wasserchemisch oft so extremen Gewässern Amazoniens näher zu erkennen. Als beispielhaft für solche ökologischen Untersuchungen wird die im Kongogebiet durchgeführte Arbeit von BERG (1961) über die Ökologie der Wasserhyazinthe *Eichhornia crassipes* in Abhängigkeit von limnochemischen Faktoren angesehen.

Zusammenfassung

Mitgeteilt werden chemische Analysen von Wasserproben, die aus dem Igarapé Préto (vergl Karte) zu Beginn der Regenzeit im Dezember 1960 entnommen wurden, zugleich in Ergänzung zu der ichthyologischen Bearbeitung dieses Flußgebietes durch GÉRY (1965). Die Wässer — zugehörig zum Typus „Klar-Schwarzwasser" — erwiesen sich, bedingt durch die relative Nähe der Andenregion, trotz ihrer Herkunft aus dem amazónischen Tertiär wesentlich mineralreicher als ähnliche Fließwassertypen im Tertiär von Zentral- und Unteramazonien.

Resumo

Communicam-se, nêste trabalho, análises químicas de amostras d'água coletadas no Igarapé Préto (cf. mapa) no início da estação chuvosa, em dezembro de 1960. Os dados obtidos servem simutaneamente de complemento para o estudo ictiológico, feito por GÉRY (1960), deste sistema fluvial.

As águas analisadas pertencem ao tipo „água clara-preta". Por causa da sua relativa proximidade à região andina, elas são, apesar de as suas cabeceiras serem situadas dentro da zona do terciário amazônico, mais ricas em substâncias inorgânicas dissolvidas do que acontece com tipos semelhantes de águas que correm nas áreas, igualmente de depósitos do terciário, mas da Amazônia Central e Baixa.

Literatur

BERG, A., 1961: Role écologique des eaux de la cuvette congolaise sur la croissance de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes* SOLMS). — Acad. roy. Sci d'Outre-Mer, Class Sci. Natur. Mém. 8°. Nouv. Sér., 12 (3): 1—104. Bruxelles.

BRAUN, R., 1952: Limnologische Untersuchungen an einigen Seen im Amazonasgebiet. — Schweiz. Ztschr. Hydrologie 14: 1—128.

FITTKAU, E. J., 1964: Remarks on limnology of central-Amazon rain-forest streams. — Verh. Internat. Verein. Limnol. 15: 1092—1096.

GAD, G. u. KNETSCH, M., 1949: Die chemische Wasseranalyse aus kleinsten Mengen. — Gesundheits-Ingenieur 70: 259—261.

GÉRY, J., 1963: *Copella vilmae* n. sp. (Pisces, Characoidei). — Senck. biol. 44: 25—31.

GÉRY, J., 1965: Characidae et Crenuchidae de l'Igarapé Préto (Haute Amazonie). — Senck. biol. 46: 11—45 u. 195—218.

GESSNER, F., 1964: The limnology of tropical rivers. — Verh. Internat. Verein. Limnol. 15: 1090—1091.

KLINGE, H. u. W. OHLE, 1964: Chemical properties of rivers in the Amazonian Area in relations to soil conditions. — Verh. Internat. Verein. Limnol. 15: 1067—1076.

KÖPPEN, W., 1931: Grundriß der Klimakunde, Berlin.

SIOLI, H., 1950: Das Wasser im Amazonasgebiet. — Forschungen und Fortschritte 26: 274—280.

SIOLI, H., 1955a: Beiträge zur regionalen Limnologie des Amazonasgebietes III: Über einige Gewässer des oberen Rio Negro-Gebietes. — Arch. Hydrobiol. 50: 1—32.

SIOLI, H., 1964: General features of the limnology of Amazonia. Verh. Internat. Verein. Limnol. — 15: 1053—1058.

SIOLI, H., 1965: Bemerkungen zur Typologie amazonischer Flüsse. — Amazoniana 1 (1): 74—83.

SCHULTZ, H., 1962: Über eine neue schöne Salmlerart aus der Unterfamilie Pyrrhulininae: *Copella* spec. — „Tropische Fische", 51—58.

SCHULTZ, H., 1962: Kingdom of the Neon Tetra. — Tropical Fish, 43—49.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Rolf Geisler,
7803 Gundelfingen bei Freiburg/Br.,
Mooswaldweg 8. DEUTSCHLAND — ALEMANHA.